**T.C.**

**KARABÜK ÜNİVERSİTESİ**

**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**

**MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

# QUADCOPTER TASARIMI VE KUVVET ANALİZİ

**HAZIRLAYAN**

Uğur AKTÜRK 2012010226064

**DANIŞMAN**

Doç.Dr. Ahmet DEMİR

KARABÜK – 2016

# İÇİNDEKİLER

İçindekiler.....I

Önsöz.....IV

Özet.....V

Şekil Listesi.....VI

Sembol Listesi.....VII

Kabul Ve Onay.....VIII

## Bölüm 1

1. MULTICOPTERLER……1

1.1 TANIM…….....1

1.2 İÇERİK VE KONFİGÜRASYON……...…....6

**Bölüm 2**

2. QUADCOPTERLER……...…..11
2.1 QUADCOPTER TANIMI……...….11
2.2 QUADCOPTER'LERİN TARİHİ……...…..12
2.2.1 İlk Denemeler…….….12
2.2.1.1 Oehmichen No.2 (1920)…….…12
2.2.1.2 de Bothezathelicopter (1922)…….....13
2.2.1.3 Convertawings Model A Quadrotor (1956)……13
2.2.1.4 Curtiss-Wright VZ-7 (1958)……13
2.2.1.5 Güncel Değişiklikler……14
2.2.2 Günümüz Programlarından Bazıları…….14
2.3 KULLANIM ALANLARI…….16
2.3.1 Araştırma Platformu……..16
2.3.2 Asker ve Güvenlik Güçleri……....16
2.3.3 Ticari…….16
2.3.4 Uçuş Kontrolü……...17
2.4 QUADCOPTER PARÇALARI…….20
2.4.1 Temel Parçalar……..20
2.4.1.1 Şase…….....20
2.4.1.2 Kontrol Kartı (Uçuş Kontrolcüsü)…….....……..21
2.4.1.3 Motor ve Pervane…….....……21
2.4.1.4 Motor Sürücü (ESC)……...……23
2.4.2 Yardımcı Parçalar.....23
2.4.2.1 Kumanda ve Alıcı.....23
2.4.2.2 Batarya ve Şarj Aleti.....23
2.4.2.3 Telemetri Alıcı ve Verici.....23
2.4.2.4 Diğer Aksesuarlar.....23

**Bölüm 3**

3. QUADCOPTER DİNAMİĞİ.....24
3.1 KUVVET DENKLEMLERİ.....24
3.1.1 Quadcopter'in Ağırlığı.....24
3.1.2 İtme Kuvvetleri.....24
3.1.3 Direnç Kuvveti.....24
3.2 QUADCOPTER'İN KALKIŞ ANINDAKİ KUVVET ANALİZİ.....25
3.3 QUADCOPTER'İN SEYİR HALİNDEKİ KUVVET ANALİZİ.....26

4. KAYNAKÇA……....32
EK-1……..33

# TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda değerli katkılarından dolayı saygıdeğer hocam Doç. Dr. Ahmet Demir'e, benim bu bilgi birikime gelmemde katkıları olan değerli bölüm hocalarıma ve bana destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

**Uğur AKTÜRK**

## ÖZET

Quadcopter tasarımı ve analizi hakkında yapmış olduğum çalışma ile quadcopterlerin tanımlanması ve tarihsel gelişimi, multicopterlerin ilk örnekleri, kullanılan ekipmanlar, çalışma mantıkları ve kuvvet analizleri konuları açıklanmıştır. Analiz kısmı teorik analizlerden oluşmaktadır, bu analizler ile quadcopterin ihtiyaç duyduğu minimum kaldırma kuvveti, ihtiyaç duyulan minimum motor gücü, kaldırılabilecek maksimum şase ağırlığı gibi değerler incelenmiştir.

## ABSTRACT

In this thesis my main goal was to design and analyze a quadcopter, tell about the historical development of these, show the first examples of quadcopters, used components in quadcopters, working principle and dinamic analysis of quadcopters. At the analyzing part of this thesis i used theorical ways to get different unknown variables like the minimum lifting force, the needed motor capacity or the maximum weight of the chassis which the motors could lift which I needed to know.

# ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

**Şekil 1.1** İnsan ulaşımı için geliştirilmekte olan bir multicopter 1
**Şekil 1.2** George Cayley'in 1796 da yaptığı helikopter tasarımının Indiana'da ki Ulusal Model Havacılık Müzesinde duran replikası 2
**Şekil 1.3** V-22 Osprey 2
**Şekil 1.4** Thomas Edison'un patent için başvurduğu birçok multi-rotor araçtan bir tanesi 3
**Şekil 1.5** Jules Verne'ünClipper of theClouds kitabından Albatros'un çizimi 4
**Şekil 1.6** Paul Cornu ve 1907 model çift motorlu hava aracı 5
**Şekil 1.7** Bell-X22A, Dikey kalkış yapabilen, ileri gitmek için jet motoru kullanan bir quadrotor 7
**Şekil 1.8** "Uçan Ahtapot" George De Bothezat tarafından tasarlanan bir quadrotor, Şubat 1923 7
**Şekil 1.9** 1958-1960 arasında Amerikan Ordusu tarafından kullanılan TheCurtiss-Wright VZ-7 "Uçan Jeep" 8
**Şekil 1.10** Curtis-Wright X-19, dört motorlu Tilt-Aircraft, 1963 8
**Şekil 2.1** Helikopterlerde kullanılan "cyclic" kontrol pozisyonları 11
**Şekil 2.2** de Bothezat, 1923 13
**Şekil 2.3** Parrot AR. Drone'un uçan prototipi 15
**Şekil 2.4** Parrot AR. Drone 2.0 kalkerken, Nevada 2012 15
**Şekil 2.5** Quadcopter özdeş motorlarının dönüş yönleri 18
**Şekil 2.6** Quadcopter'in havada asılı durma pozisyonundaki (hover pozisyonu) özdeş motorların devir hızları 18
**Şekil 2.7** Quadcopter'in yalpa (yaw) hareketi yapması için özdeş motorların çalışması gereken devir hızları 19
**Şekil 2.8** Quadcopter'in dönme (roll) hareketi yapması için özdeş motorların çalışması gereken devir hızları 19
**Şekil 2.9** Açık kaynak kodlu bir proje olan ArduCopter'in şasesi 20
**Şekil 2.10** Üst düzey bir kontrol kartı 21
**Şekil 2.11** 1200 KV ya da 286 W güç üreten bir motor 22
**Şekil 2.12** Pervane tipleri 22
**Şekil 2.13** 40 Amper'e kadar çalışan bir ESC 23
**Şekil 3.1** Kalkış sırasındaki quadcopter'in serbest cisim diyagramı 26
**Şekil 3.2** Sabit α açısıyla seyir sırasındaki quadcopter'in serbest cisim diyagramı 29

## SEMBOL LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $x, y, z$ | Koordinat eksenleri |
| $F$ | Kuvvet |
| $F_{M1}, F_{M2}, F_{M3}, F_{M4}$ | 1, 2, 3 ve 4 no'lu motorlarının itme kuvvetleri |
| $F_{itme}$ | Toplam itme kuvveti |
| $F_{itme,kalkış}$ | Kalkış esnasındaki itme kuvveti |
| $m$ | Kütle |
| $g$ | Yer çekimi ivmesi |
| $F_g$ | Yer çekimi kuvveti |
| $\dot{X}$ | Quadcopter'in $+x$ yönündeki ivmesi |
| $\dot{Y}$ | Quadcopter'in $+y$ yönündeki ivmesi |
| $\dot{Z}$ | Quadcopter'in $+z$ yönündeki ivmesi |
| $\dot{C}$ | Sabit |
| $F_d$ | Direnç kuvveti |
| $\rho$ | Havanın yoğunluğu |
| $V$ | Quadcopter'in hızı |
| $C_D$ | Hava direnç katsayısı |
| $S_w$ | Quadcopter'in seyir yönüne dik alanı |
| α | Quadcopter'in yerle yaptığı açı |

**KABUL VE ONAY**

Uğur AKTÜRK tarafından hazırlanan "Quadcopter Tasarımı ve Kuvvet Analizi" başlıklı bu tezin Lisans Bitirme Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım. 14/06/2016

Tez Danışmanı

Doç.Dr.Ahmet Demir

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalında Lisans Bitirme Tezi olarak kabul edilmiştir. 14/06/2016

Tez Jürisi

Başkan: Doç. Dr. Ahmet Demir .....

Oye : Arş. Gör. Emre Sezer .....

Oye : Arş. Gör. Ramazan ÖZMEN .....

KBÜ Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Mezuniyet Komisyonu ve Bölüm Başkanlığı bu tezi Lisans Bitirme Tezi olarak onamıştır. 14/06/2016

Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÇAYIROĞLU

Mekatronik Müh. Bölüm Bşk. V.

## 1.1 TANIM

TDK ya göre helikopterin tanımı:

(Fransızca hélicoptère) Dik iniş ve çıkış yapabildiği için dar yerlerde de kullanılabilen, tepeden pervaneli, uçan taşıt.

Bu tanıma göre multicopter ve helikopter aynı anlamı taşımaktadır. Peki, neden helikopter aslında multicopter değil?

Şekil 1.1 İnsan ulaşımı için geliştirilmekte olan bir multicopter

Multicopter'ler kontrollü uçuşunu sağlamak için mekanik plakalara, kuyruk motoru veya koaksiyel motorlara ihtiyaç duymayan bir türdür.

Şekil 1.2 George Cayley'in 1796 da yaptığı helikopter tasarımının Indiana'da ki Model

Havacılık Müzesinde duran replikası

Multicopter'ler IgorSikorsky tarafından 20. yüzyılda bulunan karakteristiklerin tümüne uymaz.

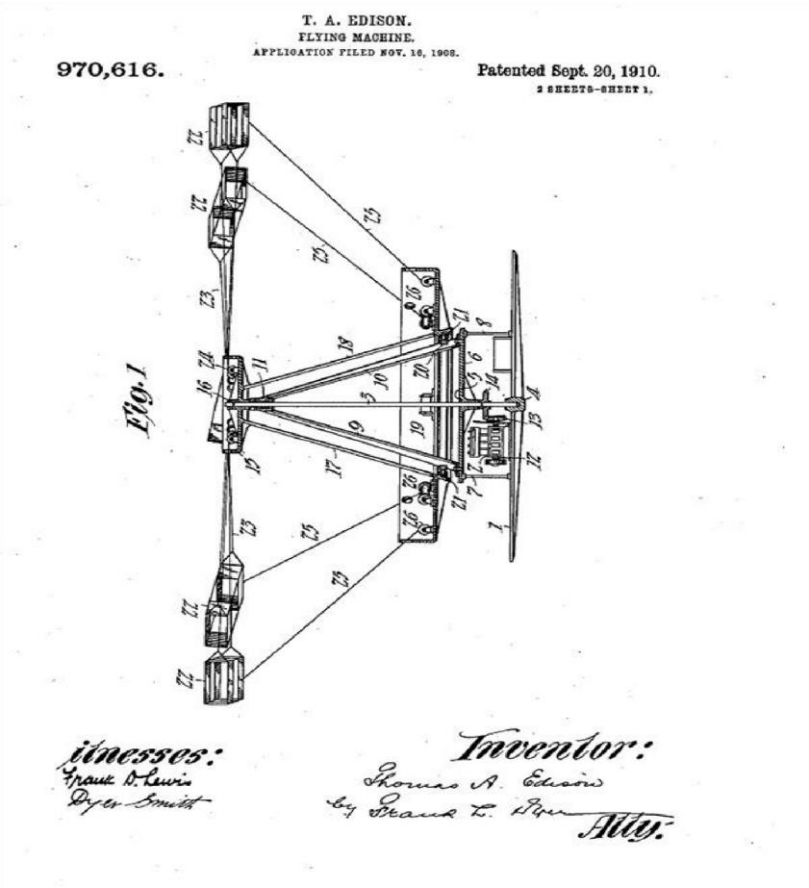
Çok motorlu olan V-22 Osprey gibi araçların multicopter olduğunu düşünüyorsanız yanılıyorsunuz. V-22 bir multirotor olsada bir multicopter değildir.

Şekil 1.3 V-22 Osprey

Osprey kendisine has özellikleri bulunan bir tilt-rotor hava aracıdır. Tilt-rotorlar multicopter tarihinin bir parçası olmasına rağmen, kendine özgü araçlardır.

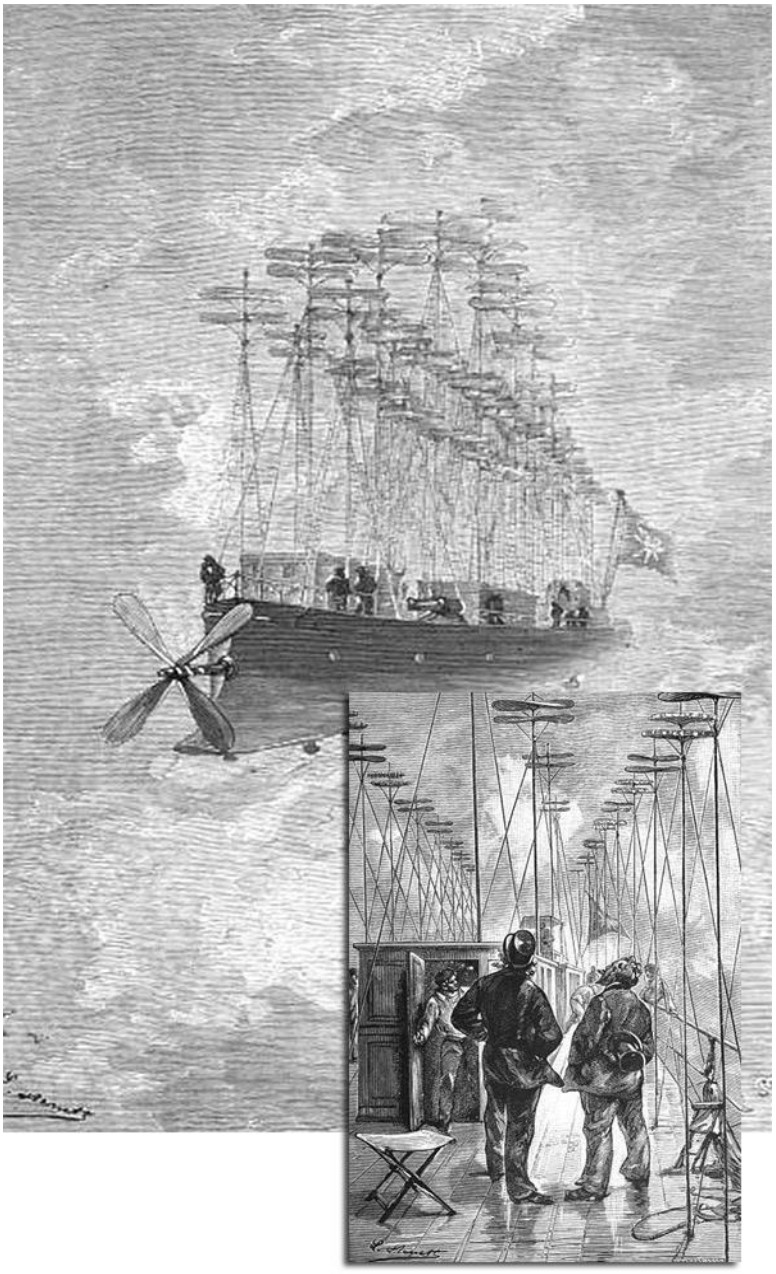
Tilt-rotorlar bir uçak ve helikopter kırması olarak düşünülebilir. Motorları irtifa için, sabit kanatları ve kontrol plakalarını ise ileri gidiş için kullanır. Multicopter için ise madem bir sözlük tanımı yok, kendimiz tanımlayalım.

Multicopter: ikiden fazla motora sahip, pitch, roll, yaw ve lift hareketleri yapan, sadece hız (rpm) kullanılarak kontrol edilen, stabilizasyonu elektro-mekanik sensörlerden ve hesaplayıcı cihazlarla sağlanan havadan ağır cihazlardır. Tricopter, quadcopter, hexacopter, octocopter, pluscopter, xcopter, hcopter isimleri spesifik konfigürasyonlar için kullanılabilir.




Şekil 1.4 Thomas Edison'un patent için başvurduğu birçokmulti-rotor araçtan bir tanesi

Multicopterlerin içeriği helikopterlere göre çok daha basittir. Ancak bu basitlik bununla sınırlıdır. Uçuş kontrolcüsünün içinde yüklenmiş olarak bulunan karmaşık yazılımlar multicopter'in uçmasını sağlar.

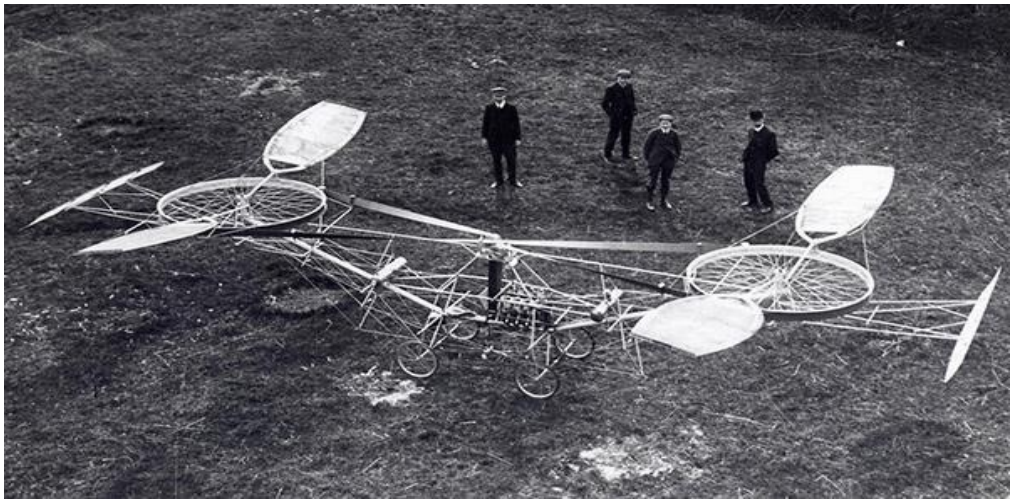


Şekil 1.5 Jules Verne'ünClipper of theClouds kitabından 37 motoruyla bugünün multicopter'in atası olan Albatros'un çizimi

Birkaç motora birkaç çomak ve pervane bağlamak multicopter'in uçması için yetmez. Bunu deneyen birçok kişi olmuşyutr ancak maalesef bu yeterli değil. Sebebi ise bir uçuş kontrolcüsü olmadan motorlardan alınan gücün eşit olmamasıdır..

Sabit bir multicopter'e uygulanan kuvvetlerin toplamı sıfırdır. Her motor ve pervane kombinasyonu itme ve tork oluşturur. Bunlar birleştiğinde multicopter'in kalkış (lift), yalpa (yaw) ve dönüş hareketi (roll) yapmasına olanak sağlar.

Multicopter'de lift, motorların itme kuvveti sayesinde sağlanır. Eğer yerçekimi, rüzgâr ve sürükleme gibi kuvvetleri bertaraf edebilseydik ve her motordan eşit itme gücü alsaydık aracımız direk olarak yukarı yükselirdi ve devam ederdi. Bu denkleme yerçekimini eklersek motorların itme gücü yerçekiminin üstesinden gelmek zorunda. Eşit olurlarsa ise sabit kalır.



Şekil 1.6 Bir insanı 20 saniye taşıyabilen ilk hava aracı olarak kayıtlara geçen Paul Cornu ve 1907 model çift motorlu hava aracı

Multicopter'lerin yönelmesi ise motorlar tarafından sağlanan değişken itme gücüyle oluşur.

Örneğin bir tricopterin ileriye uçması için ön motor yavaşlarken arka motorlar hızlanır, böylelikle yönelim sağlamak mümkün olur.

Geleneksel bir helikopterde ise kuyruk motoru ana pervane tarafından yaratılan torku dengeler.

Koaksiyel helikopterlerde ise aksi yönde dönen pervaneler birbirinin torkunu dengeler.
Bütün motorlar tarafından yaratılan döngüsel torkun toplamı multicopter'in rotasyonunu belirler. Multicopter'i pilotun istediği yöne çevirmek için o yöne pozitif bir döngüsel tork uygulanması gerekir. Bu da her motorun döngüsel torkunu ayarlayarak mümkün olur.

Torkun etkisinin görülebilmesi için motor devrinin değiştirilmesiyle mümkün olur. Eğer bir multicopter havada asılı duruyorsa, etkiyen döngüsel tork sıfırdır. Sağa veya sola çevirmek için her motorun yavaşlatılıp hızlandırması gerekir.

Belirli motorların yavaşlatılmasıda itmeyi düşürür. Devri azaltmak daima motorun uyguladığı itme gücünü değiştirir. Hızlıca multicopter çevrilmeye çalışılırsa cihazın irtifa kaybettiği görülebilir.

Uçarken dönmek için belirli motorlar yavaşlayan motorlardan kaynaklanan itme kaybını kompanse etmek amacıyla daha hızlı dönmek zorundadır.

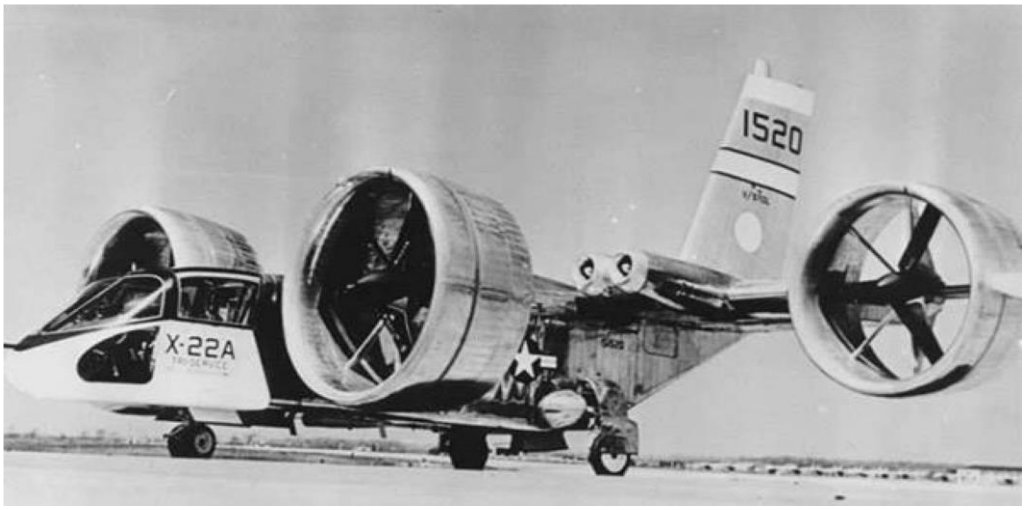
Peki multicopter nasıl havada bu kadar stabil kalabilir? Cevap uçuş kontrolcüsü. Uçuş kontrolcüsü cihaza etkiyen bütün kuvvetleri değerlendirerek aynı zamanda pilottan komutları alır. Bu değerlendirmeleri ve uygulamaları etkiyen gücün etkisinden daha hızlı yapmak zorundadır. Aksi takdirde multicopter irtifa kaybeder ve düşer.

## 1.2 İÇERİK VE KONFİGÜRASYON

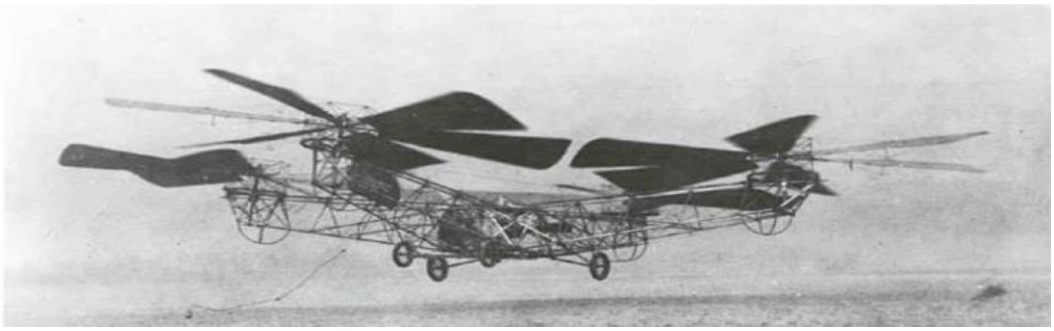
Birçok şekil ve boyutta multicopter bulunur. Konfigürasyon farklılıklarına rağmen temel içerikleri aynıdır. Bunlar kumanda, motor, pervane, ESCler, şase ve uçuş kontrolcüsü olarak özetlenebilir.

Ne kadar ileri seviye uçtuğunuza bağlı olarak video kamera, GPS, kompas, barometre, sonar sensörler ve telemetri gibi özellikler de eklenebilir. Uçuş kontrolcüsüne gyro ve akselerometrenin yanında genelde çoğu sensör dâhildir.

Multicopter tanımımıza göre simetrik olarak yerleştirilmiş en az iki motor bulunur. Motor sayısı ve uçuş konfigürasyonu multicopter'in çeşidini belirler.




Şekil 1.7 Bell-X22A, Dikey kalkış yapabilen, ileri gitmek için jet motoru kullanan bir quadrotor



Şekil 1.8 “Uçan Ahtapot” George De Bothezat tarafından tasarlanan bir quadrotor

Şekil 1.9 1958-1960 arasında Amerikan Ordusu tarafından kullanılan TheCurtiss-Wright VZ-7 “Uçan Jeep”

Şekil 1.10 Curtis-Wright X-19, dört motorlu Tilt-Aircraft, 1963

Örneğin dört motorlu bir multicopter quadcopter’dir ve “+” “X” veya “H” konfigürasyonunda uçabilir. Motorlar eş eksenli, yukarı veya aşağı bakacak şekilde takılabilir. Altı pervaneli bir hexacopter simetrik veya “Y” konfigürasyonunda olabilir.

Çoğu konfigürasyon multicopter'leri iki ve sekiz motor arasına limitlemesine rağmen Distributed Flight Array (DFA) bu önermeyi bozabilir. İsviçre Federal Teknoloji Enstitüsü, Hareketli Sistem ve Kontrol Enstitüsünde DFA ile çalışmalarını sürdürmektedir.

DFA birbiriyle koordine olabilen otonom tek pervaneli araçların birbiriyle birleşerek oluşturduğu uçuş platformudur.

DFA iki, üç, dört veya kırktan fazla motora sahip olabilir. Her motor bağımsız hareket eder ve ihtiyaç duyulduğunda birleşip tek bir ünite halinde uçabilir. Enstitü birkaç yıldır araştırmalarını sürdürmekte olup hali hazırda birkaç versiyon üretmiştir.

Pilot multicopter'e yaklaşık 60 yıldır kullanılan kumanda sistemiyle komut verir. RC teknolojisi son yıllarda tek kanaldan çok kanallıya, AM, FM ve PPM'den 2.4 GHz'e geçse de mantık hala aynıdır.

Multicopter'ler pilot kontrolü için yeni seçeneklerde sunmaya başladı. Örneğin Parrot AR Drone pilota akıllı telefon, tablet, dizüstü veya oyun konsolu kumandası gibi araçlarla kontrol imkanı veriyor.

Bu cihazlarla büyüyen gençler alışık oldukları için daha rahat kontrol edebiliyorlar. Akıllı telefonlar, tabletler ve dizüstü bilgisayarlar ise fotoğraf, video kaydetme, telemetri ve otopilot gibi daha gelişmiş seçenekleri kullanmak için olanak sağlıyor. Buna rağmen RC kumanda hala krallığını sürdürüyor.

Ağırlık tüm hava araçlarında ve multicopter'de olduğu gibi düşmandır. Bu yüzden şaseler hem hafif hemde bükülmeyi önlemek için güçlü bir yapıda olmak zorundadır. Şase seçenekleri ise multicopter yapımı için üretilmiş karbon fiber tasarımlardan ev gereçleri satan mağazalardan alınacak parçalara kadar çeşitlilik gösterir.

Motor, ESC, pil ve pervane seçimleri tecrübe ve araştırma gerektirir. Çoğu uçak çeşitli pervanelerle uyum sağlasa damulticopter'ler daha seçicidir. Çap ve kullandığı alan itmeyi belirlemede önem taşır. Fazla büyük bir pervane daha çok enerji harcar.

Pervaneleri çevirmek için kullanılan güç uçuş süresi ve uçuş karakteristiklerine etki edecektir. LiPo piller ve ESC'ler pervane ve motor seçimine uygun olmak zorundadır. Aksi takdirde multicopter hasar görebilir veya havada kaybolabilir. Multicopter için uçuş kontrolcüsü seçimi çok önemlidir. Birçok özellik ve fonksiyon seçeneği geniş fiyat aralığında bulunabilir.

Her uçuş kontrolcüsü en az üç eksenli bir gyro takımı barındırır. Kalbinde ise pilottan ve sensörlerden girdi alan, her motorun hareketine karar veren bir mikro kontrolcü bulundurur.

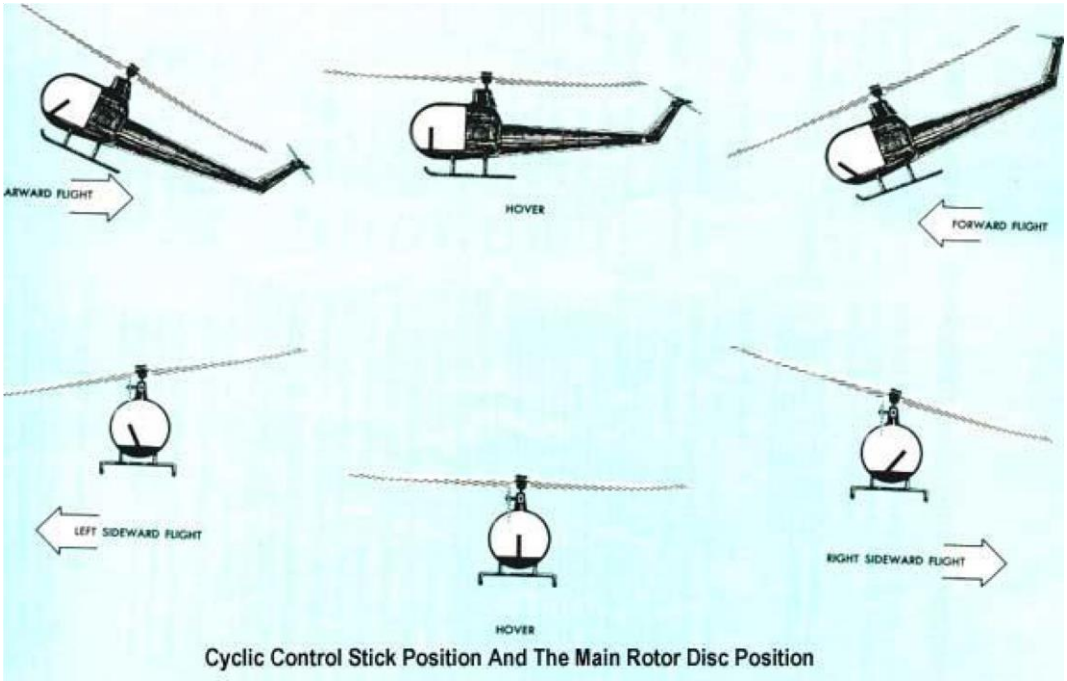
Çoğu uçuş kontrolcüsü tarafından sağlanan fonksiyonlara göz atacak olursak:

- Gyrostabilization: Cihazı sabit ve pilotun kontrolünde tutmaya yarar. Standart bir özelliktir.
- Self-leveling: Kumanda bırakıldığında havada sabit kalmasını sağlar.
- Carefree: Cihazın yönü değişse de cihazın orijinal baktığı yöne göre kontrol edilmesini sağlar.
- Altitudehold: Gazı ayarlamadan yerden belirli mesafede sabit durabilmesini sağlar.
- Positionhold: Cihazın belirlediğimiz bir yerde havada asılı pozisyonda durmasını sağlar.
- Return home: Otomatik olarak kalkış yapılan yere iniş yapmasını sağlar.
- Waypointnavigation: Cihazın önceden belirlenmiş noktaları takip etmesini sağlar.

# 2. QUADCOPTERLER

## 2.1 QUADCOPTER TANIMI

Quadrotor, birden çok pervaneye sahip olan bir helikopterdir. Bu pervaneler 2, 3 ve daha da fazla olabilir, fakat daha stabil ve simetrik olanı, insansız hava aracı olan quadcopter bir VTOL (vertical take off and landing) tanımına uyan 4 rotorlu (pervaneli) araçtır. Quadcopter'ler helikopterlerin aksine genellikle simetrik olarak yerleştirilmiş pervaneler kullanır. Bunlar kolektif olarak ayarlanır ancak helikopterdeki gibi döngüsel (cyclic) değildir. Cihazın kontrolü motorların dönüş hızını değiştirerek, yani tork yükünü ve itme/kaldırma karakteristiklerinde farklılık yaratarak sağlanır.




Şekil 2.1 Helikopterlerde kullanılan "cyclic" kontrol pozisyonları.

Quadcopter konfigürasyonları uçuş tarihinde sürekli görülen torka bağlı kontrol sorunlarını ve kuyruk motorundan kaynaklanan verim kaybını bertaraf etmek amacıyla ortaya çıkmıştır. 1920 ve 30larda insanlı uçuş için tasarımlar yapılmıştır. Bu araçlar havadan ağır olup dikey kalkış ve iniş (VTOL) yapabilen cihazların öncülerindendir. Ancak ilk prototipler düşük performanslı, arkasından gelenler ise

pilota düşen iş yükü, düşük stabilite ve sınırlı kontrol imkânından dolayı kullanılmamıştır.

Günümüzde quadcopter tasarımları insansız hava aracı (UAV) olarak popülerleşmiştir. Bu araçlar elektronik kontrol sistemleri ve elektronik sensörlerle stabilize olur. Küçük tasarımları ve çevik manevra kabiliyeti sayesinde hem kapalı hem açık alanda uçurulabilirler.

Quadcopter'lerin boyut olarak benzer helikopterlere karşı bazı avantajları vardır. İlki, quadcopter'lerin pervane açısını değiştirmek için kullanılan mekanik bağlantılara ihtiyacı yoktur. Böylelikle tasarım ve bakımı basitleşir. İkincisi, dört motor kullanıldığı için motorların çapının küçük olması, dolayısıyla uçuşta daha uçuş sırasında daha az kinetik enerjiye sahip olması, böylelikle olası bir çarpışma halinde motorların daha az hasar alması. Yapım ve kontrol kolaylığı sayesinde amatör model uçuş projelerinde quadcopter şaseleri sıklıkla kullanılmaktadır.

## 2.2 QUADCOPTER'LERİN TARİHİ

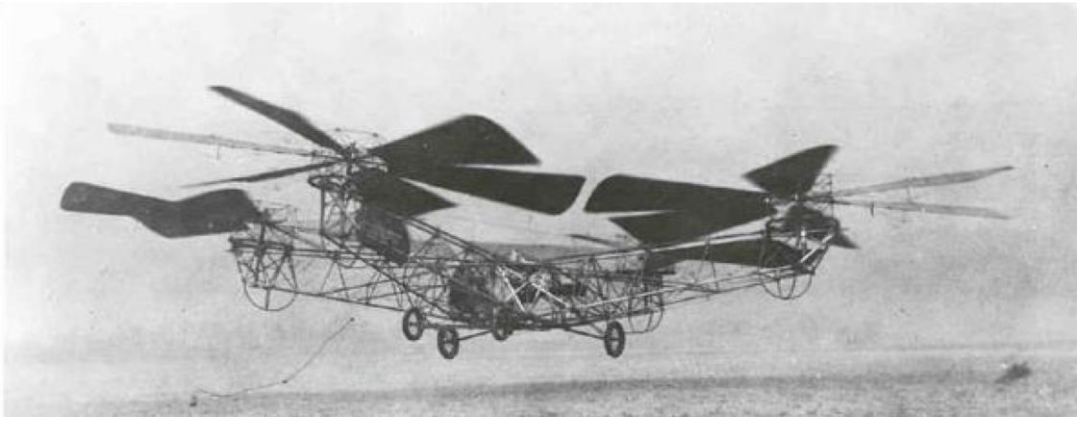
### 2.2.1 İlk Denemeler

#### 2.2.1.1 Oehmichen No.2 (1920)

Etienne Oehmichen tarafından 1920'lerde rotorlu uçak tasarım'larından biri olarak geliştirilmiştir. Etienne Oehmichen yaptığı altı denemeden sonra, dört rotor ve sekiz pervaneli olan 2 numaralı helikopteri tek motorla çalıştırmayı başardı. Bu iki numaralı helikopter, dört kolunun uçlarında bulunan iki kanatlı rotorlarında çelik birer boru çerçeve bulunmaktaydı. Bu bıçak açısı eğimden dolayı çeşitli olabilir. Pervanelerden beşi, yatay düzlemde makinaya yanal olarak sabitlenmiştir. Diğer pervane ise direksiyon için burna monte edilmiştir. Kalan son pervane çifti ise ileri tahrik için kullanılmıştır. Zamanına göre önemli miktarda stabilite sunan bu araç, 1920lerin ortalarında binden fazla test uçuşu yapmıştır. 1923 yılında havada birkaç dakika kalabilmiş, 14 Nisan 1924′te ise 360 metre giderek FAI (Uluslarası Havacılık Federasyonu) helikopterler için mesafe rekorunu kırmıştır. Dairesel bir rotayı tamamlayıp daha sonra ilk 1 kilometrelik kapalı devre uçuşu bir rotorcraftla tamamlamıştır.

### 2.2.1.2 de Bothezathelicopter (1922)

Dr.George Bothezat ve Ivan Jerome tarafından geliştirilen bu uçakta altı kanatlı rotor vardır ve yapısı X şeklindedir. Değişken sahalı iki küçük pervane, itme ve rota kontrolü için kullanıldı. Quadrotor ilk uçuşunu Ekim 1922‟de yaptı ve yaklaşık 100 uçuştan sonra son uçuşunu da 1923 yılında yaptı. Ulaştığı en fazla yükseklik 5m civarındaydı. Fizibilitesine rağmen; düşük güçte çalışıyordu, ihtiyacı karşılamıyordu ve karışık bir mekanizması olduğundan dolayı ciddi problemlere yol açıyordu. Pilotun iş yükü yanal hareket etrafında dolaştığı için çok fazlaydı.



Şekil 2.2 de Bothezat, 1923

### 2.2.1.3 Convertawings'in Quadrotor Modeli (1956)

Bu özgün helikopterin çok daha büyük bir sivil ve askeri quadrotor'a prototip olması planlanmıştı. Tasarımı iki adet motorun v kayışıyla dört rotoru döndürmesi şeklindedir. Kontrol ise kuyruk motoruna ihtiyaç duyulmadan, motorların itme gücünü değiştirerek sağlanmıştır. 1950'lerin ortasında birçok kez başarılı bir şekilde uçmuştur. Ayrıca ileri uçuş yapabilen ilk dört rotorlu hava taşıtıdır. Sipariş düşüklüğü sebebiyle proje iptal edilmiştir. Convertawings ayrıca 19ton maksimum kapasiteli, 4.9 ton taşıyıp 278 km/s hızıyla 300 mil menzile gidebilen bir Model E tasarlamıştır.

### 2.2.1.4 Curtiss-Wright VZ-7 (1958)

Curtiss-Wright VZ-7, Curtiss-Wright firması tarafından Amerikan Ordusu için dikey iniş ve kalkış (VTOL) yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kontrolü dört motorun itme gücünü değiştirerek sağlanmıştır.

#### 2.2.1.5 Güncel Değişiklikler

Hava araçlarındaki manevra kabiliyetine ve havada sabit kalma özelliğine olan ihtiyaç günümüzdeki quadcopter araştırmalarına sebep olmuştur. Dört motorlu tasarım hem basit hem de güvenilir ve manevra kabiliyetinin yüksek olmasına olanak sağlar. Son teknoloji araştırma çalışmaları quadcopter'lerin çoklu-araç iletişimi, çevre araştırmaları ve manevra kabiliyeti için geliştirmeleri uygulanabilir hale getirmektedir. Eğer bu gelişen teknoloji birleşebilirse, quadcopter'ler başka araçlar tarafından yapılması mümkün olmayan gelişmiş otonom görevleri gerçekleştirebilecek.

### 2.2.2 Günümüz Programlarından Bazıları

- Bell Boeing QuadTiltRotor sabit quadcopter konseptini tiltrotolarla kombine ederek C130 boyunda bir konseptle ileriye götürüyor.

- AermaticaSpa'danAnteos ilk resmi izinli sivil hava sahasında uçabilen rotary kanatlı RPA(uzaktan kontrol edilen hava aracı) olup, ileride ayrılmamış hava sahasında uçuş yapabilecek ilk hava aracıdır.

- AeroQuad ve ArduCopter açık kaynaklı donanıma ve yazılıma sahip, Arduino tabanlı DIY quadcopter projesidir.

- ParrotAR.Drone üstünde Parrot SA tarafından üretilmiş kameralar olan küçük RC bir quadcopterdir. Akıllı telefon veya tabletlerle kontrol edilmek için tasarlanmıştır. Haziran 2013′te Paris Air Show'da 500.000 den fazla satıldığı açıklanmıştır.

Şekil 2.3 Parrot AR. Drone'un uçan prototipi

Şekil 2.4 Parrot AR. Drone 2.0 kalkerken, Nevada 2012

## 2.3 KULLANIM ALANLARI

### 2.3.1 Araştırma Platformu

Quadrotorlar, uçuş kontrol teorisi, navigasyon, gerçek zamanlı sistemler ve robotik gibi farklı alanları da içeren bir dizi yeni fikirleri test etmek ve değerlendirmek için üniversite araştırmacıları için yaralı bir araçtır. Son yıllarda birçok üniversite giderek daha karmaşık hava manevraları performanslı quadrotorlar göstermişlerdir. Testlerde quadrotorları kullanmanın pek çok avantajı vardır. Bunların daha ucuz, daha basit tasarımları türleri amatörler tarafından da yapılır. Quadrotor projelerinde bilgisayar, elektrik ve makine mühendisliği bilgilerinin birleşimi gerekmektedir.

### 2.3.2 Asker ve Güvenlik Güçleri

Quadcopter insansız hava araçları asker ve güvenlik güçleri tarafından takip, keşif ve kentsel alandaki arama kurtarma çalışmaları için kullanılır. Bunun bir örneği küçük ve sessiz bir UAV olan, Kanadalı AeryonLabs tarafından üretilen AeryonScout'tır. Şirket Orta Amerika'daki uyuşturucu kaçakçısının ormanın derinliklerinde kıstırılması sırasında önemli bir rol oynadığını iddia etmiştir.

### 2.3.3 Ticari

Quadcopter'lerin en çok kullanıldığı alan havadan çekimlerdir. Maliyet düşüklüğü ve otonom uçuş özelliği sayesinde quadcopter'ler bu işler için çok uygundur. Quadcopter'lerle havadan fotoğraf çekmek GPS koordinatlarını girip bir tuşa basmak kadar basittir. On-board kameraları sayesinde kullanıcılar görüntüyü canlı olarak yere aktarabilir. Emlak fotoğraflamadan endüstriyel sistem denetimine kadar birçok firma tarafından kullanılır. Çeşitli kuruluşlar quadcopter'lerin kapalı devre televizyon özelliklerinden yararlanarak yerdeki hareketliliği takip eder.

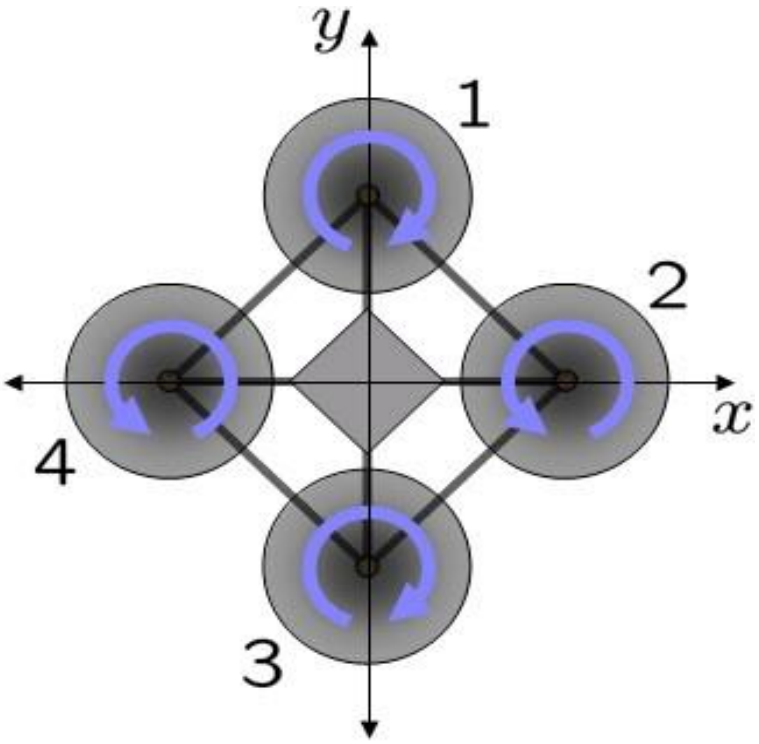
### 2.3.4 Uçuş Kontrolü

Her motor merkezinden bir itme gücü ve tork üretir, bunun yanında cihazın uçuş yönünün aksine bir sürükleme kuvveti oluşur. Bütün motorlar eşit açısal hızda dönüyorsa, birinci ve üçüncü motorla ikinci ve dördüncü motor ters yönlere dönüyorsa, toplam aerodinamik tork ve bundan dolayı yalpa eksenine etkiyen açısal hızlanma sıfırdır. Yani konvansiyonel helikopterlerde kullanılan sapmayı stabilize eden motora ihtiyaç yoktur. Sapmaya aerodinamik torkların arasındaki uyuşmazlık sebep olur.

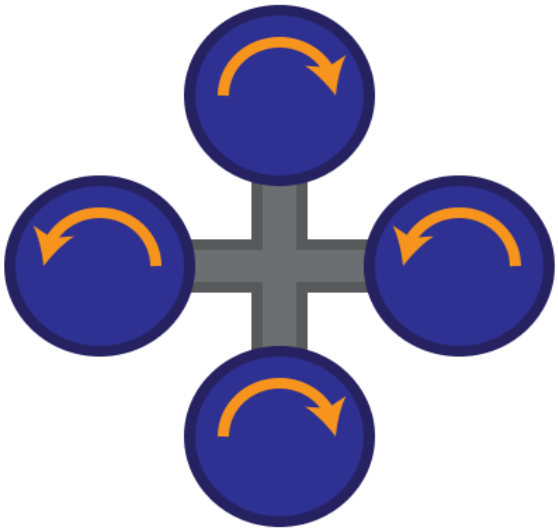
Pitch ve roll eksenlerine etkiyen açısal hızlanma yalpa eksenine etki etmeden uygulanabilir. Aynı yöne dönen her pervane pitch veya roll ekseninden birini kontrol eder ve bir motorun itme kuvvetini arttırırken diğerini azaltmak yalpa stabilitesi için gerekli olan tork dengesini koruyarak roll veya pitch eksenine tork uygulanmasını sağlar. Böylelikle, sabit pervaneler quadrotorların her eksene manevrasını sağlar. Öteleme ivmesi ise sıfır olmayan bir pitch veya roll açısıyla sağlanır.

Üç, altı veya başka bir sayıda motor yerine dört motor kullanılmasının sebebi dört motorun iki uygun dönel simetriye sahip olmasıdır. Dört motorla itmeyi yanlara verip roll hareketi yapmak kolaydır. İki aynı yöne dönen motorun birinin hızının artıp diğerinin azalmasıyla toplam tork ve yalpaya uygulanan güç sıfır olarak kalır. Klasik bir helikopteri kontrol ederken ana motordan gelen torku dengeleyip yalpa kontrolü uygulamak zor bir işlemdir ve hatırı sayılır ölçüde pratik gerektirir. Quadcopter'in ise yalpa kontrolü doğuştan dengededir. Ana kontroller değişse de öğrenmesi daha kolaydır. Günümüzde kaliteli quadcopter'ler kendinden gyroscope'lu olup yalpayı daha eksiksiz stabilize eder.

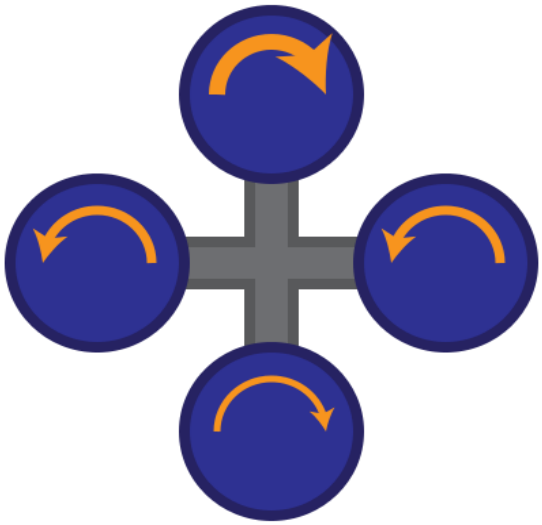
Quadcopter'lerin motorları "elmas" veya "kare" şeklinde dizilebilir.



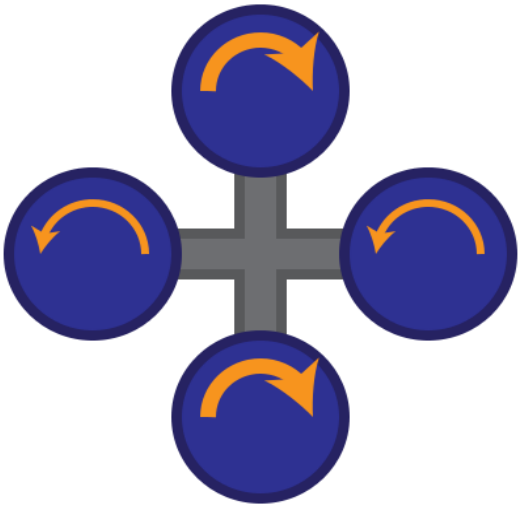

Şekil 2.5 Quadcopter özdeş motorlarının dönüş yönleri



Şekil 2.6 Quadcopter'in havada asılı durma pozisyonundaki (hover pozisyonu) özdeş motorların devir hızları



Şekil 2.7 Quadcopter'in yalpa (yaw) hareketi yapması için özdeş motorların çalışması gereken devir hızları



Şekil 2.8 Quadcopter'in dönme (roll) hareketi yapması için özdeş motorların çalışması gereken devir hızları

## 2.4 QUADCOPTER PARÇALARI

### 2.4.1 TEMEL PARÇALAR

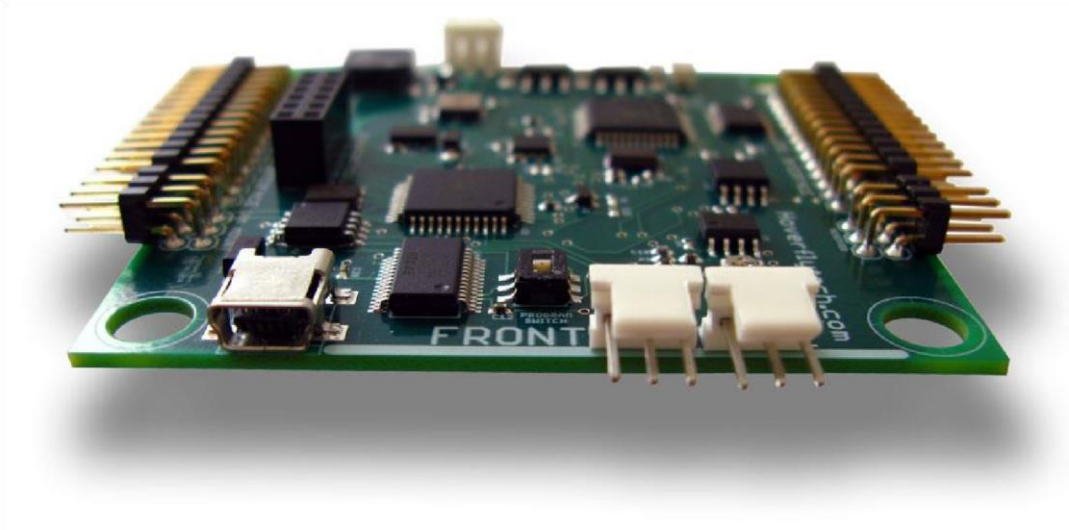
#### 2.4.1.1 ŞASE

Quadrotorlar taşıyacakları ağırlıklara göre çok ince ayarda çalışmakta olup motorların, pilin, gövdenin ve bunun gibi üzerinde yük olarak taşıyacağı tüm malzemelerin ağırlıkları önemlidir. Quadrotor toplanmasına başlanırken ilk olarak gövdeden başlanılması gerektiği için, bu konuda en önemli kısımlardan birisi de quadrotorun gövdesidir. Quadrotorlar için 2 tip gövde kullanılmaktadır. Bunlar Alüminyum ve Fiberglas Gövdeler'dir. Bu 2 tip gövdeyi boylarına göre ağırlıklarını standartlaştırırsak birbirlerinden pek bir farkı olmadıkları anlaşılmaktadır. Alüminyum gövdeler yapı itibariyle daha ince olmaktadırlar. Diğer yandan fiberglas gövdeler alüminyum gövdelere göre daha kalın olmaktadırlar fakat fiberglas gövdeleri ile alüminyum gövdeler ağırlık bakımından hemen hemen aynıdırlar.

Şekil 2.9 Açık kaynak kodlu bir proje olan ArduCopter'in şasesi

### 2.4.1.2 Kontrol Kartı (Uçuş Kontrolcüsü)

Bu birim sistemin beynidir ve tüm dengede kalma, kumanda verisi okuma, batarya kontrolü gibi kritik işlemler bu birim sayesinde gerçekleştirilmektedir. Bu kapsamda sistem üzerindeki en kritik parçadır. Yön tayinini ve stabil uçuşları, kontrol kartının üzerinde bulundurduğu üç açılı jiroskop ile, denge tayinini ise yüksek performanslı barometre ile sağlamaktadır. Bunların yanı sıra üzerinde manyetometre ve ivmeölçer de bulundurmaktadır

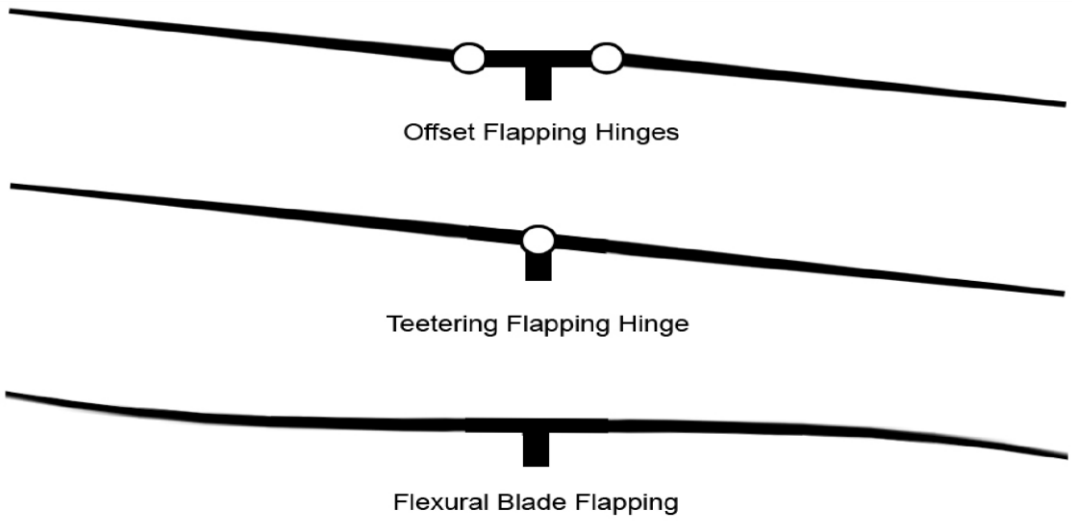



Şekil 2.10 Üst düzey bir kontrol kartı

### 2.4.1.3 Motor ve Pervane

Quadcopterlerde kullanılan motorlar çoğunlukla fırçasız motorlardır. Fırçasız motorlar gelişen teknolojiyle beraber birçok alanda kullanılmakta olup, robotik alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Bu motorlar radyo kontrollü projelerde (Multikopterler, Helikopterler, RC Arabalar vb.) sıklıkla kullanılmaktadırlar. Bu alanda kullanılmalarının ana sebeplerinden biri diğer motorlara göre yüksek performans sergilemeleridir. Fırçasız motorların diğer motorlara göre daha sessiz çalışma, elektriksel gürültü oluşturmama, daha kolay bakım, daha uzun ömür, daha hızlı çalışma ve daha güçlü torklara sahip olma gibi avantajlarıda bulunmaktadır.

Şekil 2.11 1200 KV ya da 286 W güç üreten bir motor




Şekil 2.12 Pervane tipleri

#### 2.4.1.4 Motor Sürücü (ESC)

Sistem üzerindeki en önemli parçalardan birisidir. İstatistik olarak en çok kazaya sebep veren parçadır, bu sebeple yüksek kaliteli ve önerilen ürünlerin kullanılması önemlidir. Profesyonel sistemlerde kaliteli ve yüksek Amper değerli ESC'ler kullanılmalıdır.

Şekil 2.13 40 Amper'e kadar çalışan bir ESC

### 2.4.2 YARDIMCI PARÇALAR

#### 2.4.2.1 Kumanda ve Alıcı

Multicopter birimine komutları gönderdiğiniz birimdir, kumanda ile iletişimin kesilmesi durumunda güvenlik önlemleri olsa da bu birimlerin de düşük kaliteli olarak seçilmesi önerilmez. Genellikle uçuş kontrolcü birimleri uygun kumanda birimleri ve markaları önermektedir. Önerilen kumanda setlerinin kullanılmasında faydalıdır. Kumanda üzerinden batarya durumu, irtifa bilgisi gibi telemetri verilerinin okunabilmesi önemlidir.

#### 2.4.2.2 Batarya ve Şarj Aleti

Sistemin uçmasındaki en önemli parça bataryadır. Multicopter sistemlerinde lityum polimer bataryalar kullanılmalıdır. Bu tez çalışmasında 3S 5400 MahLi-Po bataryası kullanılmıştır. Bataryanın ağırlığı 825 gr. Bu batarya hem kontrol kartının hemde motorların ihtiyaç duyduğu gerilimi verir.

#### 2.4.2.3 Telemetri Alıcı ve Verici

Multicopter sisteminde sistemin batarya durumu, irtifası, hızı, pozisyonu gibi verilerine telemetri verileri denir. Bu verileri bilgisayar üzerine aktaran ve bilgisayar yazılımı üzerindeki harita uçuşu gibi komutları hava aracına aktaran birimdir. Uçuş kontrolcü sisteminin önerdiği marka ve model ürünlerin kullanılması gerekmektedir.

#### 2.4.2.4 Diğer Aksesuarlar

Multicopter sistemlerinde eksen hassasiyeti ve parça kalitesi önemlidir, bu anlamda uçuşunuzu destekleyecek birçok aksesuar mevcuttur. Sistemin taşınması için taşıma çantaları, uçuş uygunluğunu ölçebilmek için rüzgâr ölçer, motor temizliği için temizleyici spreyler, Bilgisayar için güneşlik gibi birçok aksesuar mevcuttur.

# 3. QUADCOPTER DİNAMİĞİ

## 3.1 KUVVET DENKLEMLERİ

Newton'un birinci ve ikinci yasaları gereği:

$$\sum F_{net} = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ \ddot{Z} \end{bmatrix} (3.1)$$

### 3.1.1 Quadcopter'in Ağırlığı

Dünyadaki bir cisme $g$ kadar ivme uygulandığını biliyoruz ve yine Newton'un yasaları gereği:

$$F_g = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} (3.2)$$

### 3.1.2 İtme Kuvvetleri

Motorların uyguladığı itme kuvvetini ise:

$$F_{itme} = \begin{bmatrix} \sin\alpha \cdot F_{M1} + sin\alpha \cdot F_{M2} + sin\alpha \cdot F_{M3} + sin\alpha \cdot F_{M4} \\ cos\alpha \cdot F_{M1} + cos\alpha \cdot F_{M2} + cos\alpha \cdot F_{M3} + cos\alpha \cdot F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} (3.3)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

Kalkış sırasında $\alpha$ = 0 olacağı için bu denklemi kalkış için:

$$F_{itme,kalkış} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_{M1} + F_{M2} + F_{M3} + F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} (3.4)$$

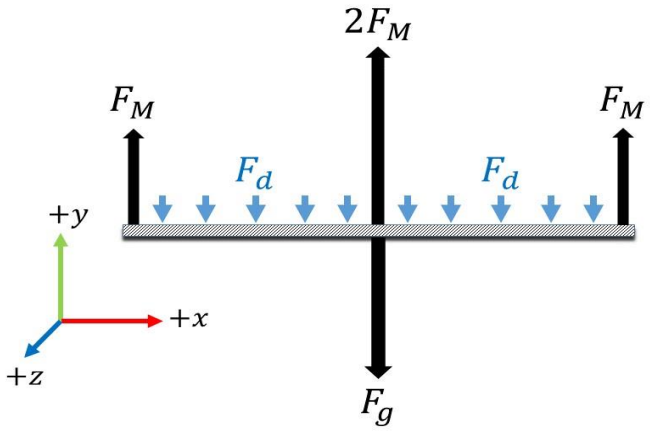
şeklinde yazabiliriz.

### 3.1.3 Direnç Kuvveti

Seyir esnasında bir direnç (ya da sürtünme) kuvveti oluşacağını biliyoruz. Bu kuvvet:

$$F_{direnç} = m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_w \cdot C_D \quad (3.5)$$

## 3.2 QUADCOPTER'İN KALKIŞ ANINDAKİ KUVVET ANALİZİ




Şekil 3.1 Kalkış sırasındaki quadcopter'in serbest cisim diyagramı

$$\sum Fnet = Fitme,kalkış - Fdirenç - Fg$$

$$\sum F_{net} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_{M1} + F_{M2} + F_{M3} + F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0^2 \cdot S_{wx} \cdot C_D \\ m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{wy} \cdot C_D \\ m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0^2 \cdot S_{wz} \cdot C_D \end{bmatrix}$$

$$- m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ g \\ 0 \end{bmatrix} = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \ddot{Y} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum Fnet,x = 0$$

$\sum Fnet,z = 0$

Kalkış sırasında $F_{M1} = F_{M2} = F_{M3} = F_{M4}$ olduğu için bu denklemi:

$$\sum F_{net,y} = (4F_M) - (m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{wy} \cdot C_D) - (m_{toplam} \cdot g) = m_{toplam} \cdot \ddot{Y}$$

şeklinde yazabiliriz. Buradan:

$$F_M = \frac{m}{4} \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_w \cdot C_D + g + \ddot{Y} \right) \quad (3.6)$$

Elde ederiz.

Ayrıca quadcopter havada asılı halde (hover pozisyonunda) durduğu andaki denklemi yazarsak:

$$F_{direnç} = 0$$

$$\sum F_{net,z} = (4F_M) - (m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0^2 \cdot S_{wz} \cdot C_D) - (m_{toplam} \cdot g) = m_{toplam} \cdot \ddot{C}$$

$$\sum Fnet,z = (4FM) - (mtoplam \cdot g) = 0$$

Buradan quadcopter'in havada asılı kalabilmesi için en az gereken toplam motor kuvvetini:

$$\sum FM = mtoplam \cdot g$$

ve $F_{M1} = F_{M2} = F_{M3} = F_{M4}$ olduğu için quadcopter'in havada asılı kalabilmesi için tek bir motorun üretmesi gereken minimum itki kuvvetini bulabiliriz:

$$F_{M,min} = \frac{m_{toplam} \cdot g}{4} \quad (3.7)$$

Bu durumda:

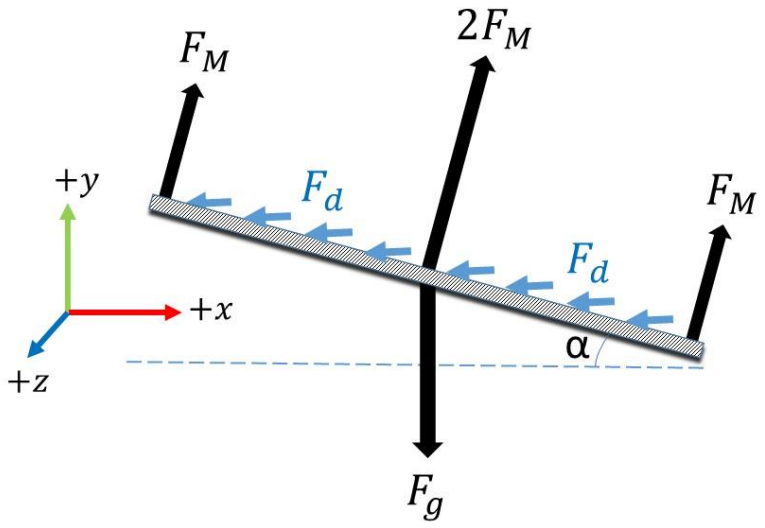
$F_M > \frac{m_{toplam} \cdot g}{4}$ ise quadcopter'in ivmesi $+y$ yönünde $F_M < \frac{m_{toplam} \cdot g}{4}$ ise quadcopter'in ivmesi $-y$ yönünde olur.

Dolayısıyla:

$$F_M = \frac{m_{toplam} \cdot g}{4} \quad (3.8)$$

denkleminden bulduğumuz $F_M$ değeri üzerindeki herhangi bir değeri seçip kalkış durumu için analiz yapmamız mümkün.

### 3.3 QUADCOPTER'İN SEYİR HALİNDEKİ KUVVET ANALİZİ




Şekil 3.2 Sabit α açısıyla seyir sırasındakiquadcopter'in serbest cisim diyagramı

$$\sum Fnet = Fitme - Fdirenç,z - Fg$$

$$\sum F_{net} = \begin{bmatrix} \sin\alpha \cdot F_{M1} + sin\alpha \cdot F_{M2} + sin\alpha \cdot F_{M3} + sin\alpha \cdot F_{M4} \\ cos\alpha \cdot F_{M1} + cos\alpha \cdot F_{M2} + cos\alpha \cdot F_{M3} + cos\alpha \cdot F_{M4} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{wy} \cdot C_D \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = m_{toplam} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \ddot{Y} \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\sum F_{net,x} = [\sin\alpha(F_{M1} + F_{M2} + F_{M3} + F_{M4})] - (m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{wx} \cdot C_D) = m_{toplam} \cdot \ddot{X}$$

olacaktır.

$F_{M1} = F_{M2} = F_{M3} = F_{M4}$ olduğu için

$$\sum F_{net,x} = sin\alpha \cdot \sum F_M - (m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S_{wx} \cdot C_D) = m_{toplam} \cdot \ddot{X}$$

$$\sum F_{net,y} = [\cos\alpha(F_{M1} + F_{M2} + F_{M3} + F_{M4})] - \left(m \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0^2 \cdot S_{wy} \cdot C_D\right) - m_{toplam} \cdot g = m_{toplam} \cdot \ddot{C}$$

$y$ ekseninde $V = 0$ olduğu için $S_{wy}$'nin de bir önemi kalmıyor.

$$Fdirenç,y = 0$$

$$cos\alpha \cdot \sum F_M - m_{toplam} \cdot g = 0$$

ve

$$cos\alpha \cdot \sum FM = mtoplam \cdot g$$

olur. $F_{M1} = F_{M2} = F_{M3} = F_{M4}$ olduğu için de tek bir motorun uygulaması gereken kuvvet

$$F_M = \frac{m_{toplam} \cdot g}{4 \cdot cos\alpha} \quad (3.9)$$

olmalıdır.

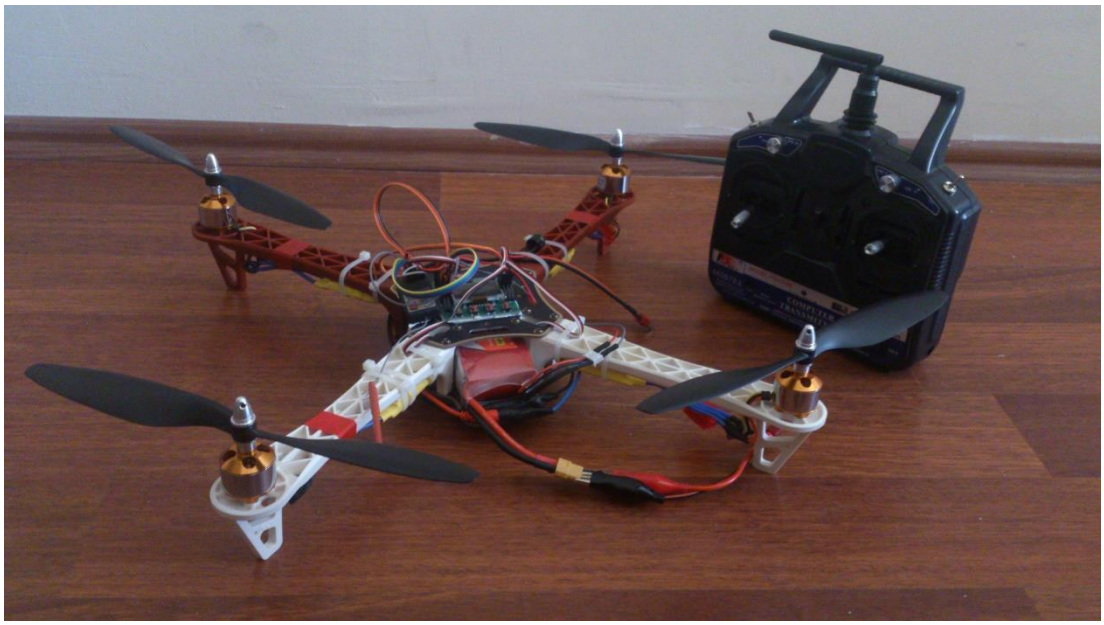
$F_M < \frac{m_{toplam} \cdot g}{4 \cdot cos\alpha}$ ise quadcopter'in ivmesi $-y$ yönünde

$F_M > \frac{m_{toplam} \cdot g}{4 \cdot cos\alpha}$ ise quadcopter'in ivmesi $+y$ yönünde olacaktır.

Dolayısıyla quadcopter'in sadece $\pm x$ yönünde hareket etmesini istiyorsak:

$$F_M = \frac{m_{toplam} \cdot g}{4 \cdot cos\alpha} \quad (3.9)$$

olmak zorundadır. $F_M$'i bulmak için belirlememiz gerken tek bilinmeyen α açısıdır. Quadcopter'ler kontrolcüden alınan hız verilerine göre çeşitli α açılarında hareket edebilmektedirler. Genelde $35^{\circ}$ üzeri açılarda quadcopter üzerinde gereğinden fazla gerilme oluşacağından kullanılmaz.



## KAYNAKÇA


[1]https://en.wikipedia.org/wiki/Multirotor

[2] http://bolubeyi.net/quadrotorquadcopter-nedir.html

[3] Raymond A. Serway, John W. JewettJr.PhysicsforScientistsandEngineers 9th Edition, Chapter 5, Laws of Motion

[4] Ferdinand P. Beer& E. RussellJohnstonJr. VectorMechanicsforEngineers: Statics 3rd Edition

[5] http://en.wikipedia.org/wiki/Quadcopter

[6] http://hdl.handle.net/11250/136687

[7] http://www.ted.com/talks/vijay_kumar_robots_that_fly_and_cooperate

[8] http://www.ted.com/talks/raffaello_d_andrea_the_athletic_power_of_quadcopters

[9] G. Hoffmann, D. G. Rajnarayan, S. L. Waslander, D. Dostal, J. S. Jang and C. J. Tomlin, "The Standford Testbed of Autonomous Rotorcraft for Multi-Agent Control (STARMAC)", 23rd Digital Avionics Systems Conference, 2004.

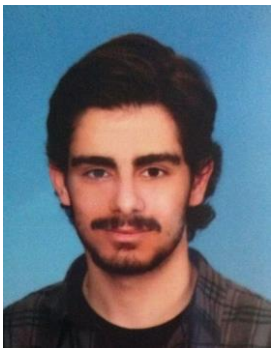
[10] A. Karaahmetoğlu, "Dört Rotorlu Hava Aracının Durum Kestirimine Dayalı LQG ile Yörünge Kontrolü," Ġstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü Bitirme Tasarım Projesi, Ġstanbul, Türkiye, 2000

[11] C. Dikmen, A. Arısoy and H. TemeltaĢ, "Dikey ĠniĢ-KalkıĢ Yapabilen Dört Rotorlu Hava Aracının (Quadrotor) UçuĢ Kontrolü", Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, sayı 3, sayfa 33-40, Ocak 2010.

[12] K. Jack, A Handbook for the Digital Engineer, Burlington, USA

[13] S. L. Waslander, G. Hoffmann, J. S. Jang and C. J. Tomlin, "MultiAgent X4-Flyer Testbed Control Design: Integral Sliding Mode vs. Reinforcement Learning", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.

# ÖZGEÇMİŞ



Uğur AKTÜRK 1994'da Almanya'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini almanya'da tamamladı; İstanbul Bağcılar Birkim Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra 2012 yılında Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü'ne girdi. Halen bu bölümde eğitimini sürdürmektedir.


İletişim Bilgileri

Adres: Yenigün Mahallesi 7/A Sokak No.6 Daire 10

Bağcılar / İSTANBUL

E-posta:uguraktuerk@hotmail.com